

## برآورد تابع خسارت برای ساختمان‌های غیرمهندسی ساز در منطقه‌ی زرند

محمدرضا قائم‌امیان (دانشیار)

پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

سمیه احمدزاده (دانشجوی کارشناسی ارشد)

نوربخش میرزایی (دانشیار)

مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران

یکی از مهم‌ترین علل تلفات انسانی و زیان‌های اقتصادی - اجتماعی ناشی از زمین‌لرزه‌ها، آسیب‌پذیری شدید ساختمان‌های مسکونی در مناطق شهری و روستایی است. از جمله روش‌های موجود برای بررسی آسیب‌پذیری لرزه‌ی ساختمان‌ها، استفاده از منحنی‌های آسیب‌پذیری یا تابع خسارت است که با توجه به نوع سازه، مصالح به‌کار رفته و روش‌های ساخت‌وساز برای هر منطقه یا کشور متفاوت است. در این مطالعه، تابع خسارت برحسب شدت و بیشینه‌ی شتاب جنبش زمین برای ساختمان‌های غیرمهندسی ساز (خشتی و مصالح بنایی) منطقه‌ی زرند با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده از خرابی ساختمان‌ها در زمین‌لرزه‌ی داهوتیه - زرند (۱۳۸۳)، ارائه شده است. بدین منظور شدت زمین‌لرزه در شهرها و روستاهای خسارت دیده با توجه به رده‌ی آسیب‌پذیری ساختمان‌ها و میزان خرابی آن‌ها براساس دستورالعمل EMS-۹۸ تعیین شده است. همچنین، میزان خسارت در سطح خرابی سنگین برای ساختمان‌های منطقه محاسبه شده و در نهایت با توجه به تعداد بالای ساختمان‌های غیرمهندسی ساز در منطقه‌ی زرند تابع خسارت برای این نوع ساختمان‌ها ارائه شده است. براین اساس، آستانه‌ی تخریب سنگین در منطقه‌ی زرند معادل  $10^{-1} \text{ cm/s}^2$  برحسب شتاب و شدت VII در مقیاس EMS-۹۸ برآورد شد.

واژگان کلیدی: آسیب‌پذیری، تابع خسارت، شدت، بیشینه شتاب جنبش زمین، دستورالعمل EMS-۹۸، زمین‌لرزه‌ی ۱۳۸۳ داهوتیه - زرند.

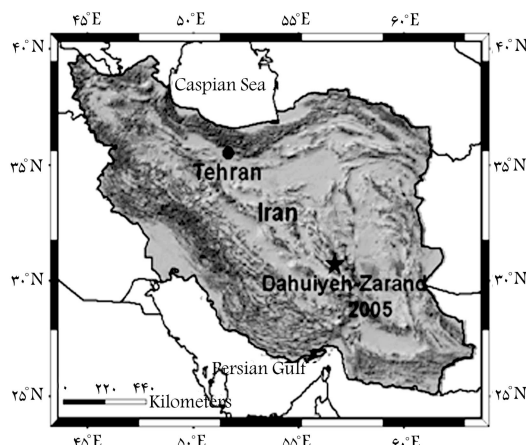
### ۱. مقدمه

در تاریخ ۴ اسفند ۱۳۸۳، ساعت ۵ و ۵۵ دقیقه و ۲۰ ثانیه صبح (به وقت محلی) -- برابر با ساعت ۲ و ۲۵ دقیقه و ۲۰ ثانیه به وقت گرینویچ -- زمین‌لرزه‌ی نیرومندی با بزرگای گشتاوری  $M_w = 6.4$ ، شهر زرند و روستاهای اطراف آن را به شدت لرزاند.<sup>[۱]</sup> مختصات رومرکز این زمین‌لرزه ۳۰/۷۶ درجه‌ی عرض شمالی و ۵۶/۷۴ درجه‌ی طول شرقی در نزدیکی روستای داهوتیه در استان کرمان گزارش شده است (شکل ۱). براساس گزارش استانداری کرمان در زمین‌لرزه‌ی داهوتیه - زرند، ۶۵۷ نفر کشته شدند (۵۸٪ مرد و ۴۲٪ زن) که ۳۱ نفر از آن‌ها اتباع کشور افغانستان بودند، و نیز حدود ۱۴۵۰ نفر مجروح شدند. علاوه بر تلفات جانی، بالغ بر ۷۰۰ میلیارد ریال خسارت مالی به منطقه وارد شد. خسارات وارده بر ساختمان‌ها نیز قابل توجه بود؛ به‌طوری که ۱۲۴۴۹ واحد مسکونی تخریب و ۱۵۰۸۷ واحد نیز آسیب دیدند. بر اثر این زمین‌لرزه روستاهای داهوتیه بالا و حتکن به‌طور ۱۰٪ تخریب و به حدود ۶۰ روستای دیگر خسارت وارد شد. یادآور می‌شود مناطق

خسارت دیده از این زمین‌لرزه شامل شهرستان‌های زرند، راور و کرمان واقع در استان کرمان هستند که با توجه به مختصات رومرکزی، بیشتر خسارات مربوط به شهرستان زرند بوده است. بیشینه شتاب این زمین‌لرزه در ایستگاه زرند  $323 \text{ cm/s}^2$  گزارش شده است.<sup>[۲]</sup>

آسیب‌پذیری شدید ساختمان‌های مسکونی در مناطق شهری و روستایی یکی از مهم‌ترین علل تلفات انسانی و زیان‌های اقتصادی - اجتماعی ناشی از زمین‌لرزه‌هاست. به‌منظور کاهش و جلوگیری از این‌گونه تلفات و زیان‌ها در آینده، لازم است آسیب‌پذیری ساختمان‌ها در مقابل زمین‌لرزه‌های احتمالی در هر منطقه تعیین شود. از جمله روش‌های موجود برای بررسی آسیب‌پذیری لرزه‌ی ساختمان‌ها، استفاده از منحنی‌های آسیب‌پذیری یا تابع خسارت است که با توجه به نوع سازه، مصالح به‌کار رفته، و روش‌های ساخت‌وساز برای هر منطقه یا هر کشور متفاوت است. یکی از انواع روش‌ها در برآورد منحنی‌های خسارت «روش تجربی» است. منحنی‌های خسارت تجربی براساس داده‌های حاصل از بازدید میدانی ساختمان‌های آسیب‌دیده، در مناطق خسارت‌دیده از زمین‌لرزه به دست می‌آید. مزیت اصلی این روش، واقع‌بینانه

تاریخ: دریافت ۱۳۸۸/۱/۲۶، اصلاحیه ۱۳۸۸/۶/۲۵، پذیرش ۱۳۸۸/۱۰/۲۹.



شکل ۱. موقعیت زمین‌لرزه‌ی داهوئییه - زرنند بر روی نقشه ایران.

سطح خرابی مورد نظر» است زیرا برای آسیب‌پذیری ساختمان‌ها سطوح خرابی مختلفی در دستورالعمل‌های موجود از جمله در دستورالعمل مقیاس مه‌لرزه‌ی اروپایی EMS-۹۸ در نظر گرفته شده است.<sup>[۷]</sup> براساس عامل سوم - تعیین نوع و تعداد طبقات ساختمان‌های مورد بررسی - و با توجه به مصالح به کاررفته در سازه‌ها و نحوه‌ی ساخت آن‌ها، هریک از سازه‌ها پاسخ متفاوتی در برابر جنبش زمین نشان می‌دهند و بنابراین منحنی خسارت انواع ساختمان‌ها با یکدیگر متفاوت است.

مطالعات مربوط به زلزله‌ی منجیل (۱۳۶۹) از نمونه‌های تعیین تابع خسارت در ایران است که در آن با استفاده از بررسی محدود خرابی‌ها، تابع خسارت برای ساختمان‌های مسکونی غیرمهندسی‌ساز ارائه شده است.<sup>[۸]</sup> آژانس همکاری‌های بین‌المللی ژاپن (جایکا)<sup>۲</sup> در سال ۲۰۰۰ به درخواست شهرداری تهران اقدام به ریزپهنه‌بندی لرزه‌ی تهران بزرگ کرد و در برآورد آسیب‌پذیری شهر تهران از این تابع خسارت و مقیاس کردن آن برای ساختمان‌های متداول شهر تهران براساس قضاوت مهندسی استفاده کرد.<sup>[۹]</sup> در سال ۱۳۸۷ در ایران نیز آمار مربوط به ۱۴۰۰ ساختمان خسارت‌دیده از زمین‌لرزه‌ی بم (۱۳۸۲) مورد مطالعه قرار گرفت و طی آن تابع خسارت برحسب شدت برای ساختمان‌های غیرمهندسی‌ساز در بم ارائه شد.<sup>[۱۰]</sup>

### ۳. مقیاس مه‌لرزه‌ی اروپایی EMS-۹۸

در این بررسی به منظور تعیین خسارت وارده بر ساختمان‌ها و شدت زمین‌لرزه از مقیاس EMS-۹۸ استفاده شده است. در این مقیاس به منظور تعیین شدت زمین‌لرزه از معیارهای: ۱. اثر زمین‌لرزه بر انسان‌ها؛ ۲. اثر زمین‌لرزه بر اشیاء و طبیعت؛ ۳. صدمات وارده به ساختمان‌ها استفاده شده است. در این دستورالعمل، ضمن تعریف انواع ساختمان‌ها، میزان آسیب‌پذیری به شش رده - از A (آسیب‌پذیرترین) تا F (کم‌ترین آسیب‌پذیری) - متناسب با نوع سازه و مطابق جدول ۱ تقسیم‌بندی شده است. ضمناً سطح خرابی ساختمان‌ها در EMS-۹۸ به ۵ درجه<sup>۳</sup> از ۱ الی ۵ طبقه‌بندی شده است:

درجه ۱: خرابی ناچیز؛

درجه ۲: خرابی متوسط؛

درجه ۳: خرابی زیاد؛

درجه ۴: خرابی خیلی زیاد؛

درجه ۵: ویرانی کامل.

شدت زلزله در EMS-۹۸ به ۱۲ درجه مقیاس شده است. به منظور تعیین شدت، درصد خرابی در سطوح مختلف تخریب برحسب نوع سازه و رده‌ی آسیب‌پذیری مورد استفاده قرار می‌گیرد.

### ۴. بررسی داده‌های مربوط به خسارت سازه‌ی و تشکیل

#### پایگاه داده‌ها در مناطق زلزله‌زده‌ی زرنند

در این مطالعه سه دسته اطلاعات موجود از ساختمان‌های بازدیدشده در مناطق خسارت‌دیده‌ی شهرستان‌های زرنند، راور و کرمان گردآوری شده است. ابتدا نوع داده‌های موجود در هر دسته بررسی، و در نهایت مجموعه‌ی واحد از داده‌ها تشکیل شده است. دسته‌ی اول داده‌ها، شامل اطلاعات حاصل از فرم‌های مربوط به ستاد بازسازی بنیاد مسکن استان کرمان است که در بازدید از مناطق زلزله‌زده توسط کارشناسان ستادهای معین تهیه شده است. این داده‌ها تعداد ۷۲۵ واحد مسکونی

بودن آن است زیرا منحنی‌ها براساس داده‌های واقعی شکل می‌گیرند. از سوی دیگر، یکی از محدودیت‌های این روش ناهمگنی احتمالی داده‌های مورد استفاده است.<sup>[۳]</sup> از جمله عوامل ایجاد ناهمگنی می‌توان به ترکیب اطلاعات زمین‌لرزه‌های مختلف با یکدیگر یا اطلاعات جمع‌آوری شده توسط کارشناسان و گروه‌های مختلف اشاره کرد. اما آنچه که اهمیت بیشتری در تشکیل منحنی‌های خسارت دارد «میزان داده‌های موجود» است، به طوری که استفاده از مجموعه داده‌های ناهمگن بزرگ بر مجموعه داده‌های همگن کوچک ارجح شمرده می‌شود.<sup>[۴]</sup>

در این نوشتار، تابع خسارت برحسب شدت و بیشینه‌ی شتاب برای ساختمان‌های غیرمهندسی‌ساز (خشتی و مصالح بنایی) منطقه‌ی زرنند با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده از ساختمان‌ها در زمین‌لرزه‌ی داهوئییه - زرنند (۱۳۸۳) ارائه شده است. با گردآوری و هم‌ارزش‌سازی اطلاعات مربوط به خرابی ساختمان‌های منطقه که توسط سه گروه مختلف جمع‌آوری شده، شدت زلزله براساس دستورالعمل EMS-۹۸ در مناطق خسارت‌دیده تعیین شده است. به منظور تخمین شتاب درگستره‌ی مورد نظر، از نتایج برآورد شتاب به روش درون‌یابی عکس فاصله‌ی وزنی و روابط تضعیف<sup>[۵]</sup> برای منطقه‌ی زرنند استفاده شده است. در نهایت با توجه به زیادبودن تعداد ساختمان‌های غیرمهندسی‌ساز در منطقه‌ی زرنند، تابع خسارت برای این نوع ساختمان‌ها برحسب شدت و بیشینه‌ی شتاب ارائه شده است.

### ۲. توابع خسارت

«منحنی خسارت» بیان‌گر احتمال خرابی نوع مشخصی از ساختمان‌ها برحسب پارامتر جنبش زمین است. در واقع منحنی‌های خسارت رابطه‌ی بین پارامتر جنبش زمین و آسیب‌پذیری ساختمان را نشان می‌دهند. بنابراین، برای تهیه‌ی منحنی‌های خسارت تعیین سه عامل ضروری است: ۱. پارامتر جنبش زمین؛ ۲. سطح خرابی مورد نظر؛ ۳. تعیین نوع و تعداد طبقات ساختمان‌ها.

از میان پارامترهای مختلف جنبش زمین، شدت مه‌لرزه‌ی<sup>۱</sup> و بیشینه‌ی شتاب جنبش بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند.<sup>[۲]</sup> یکی از مزایای شدت مه‌لرزه‌ی این است که برای داده‌های تاریخی یا مناطقی که داده‌های دستگاهی وجود ندارد، قابل استفاده است. دیگر پارامتری که کاربردی گسترده دارد «بیشینه‌ی شتاب جنبش زمین» است که برآوردی واقعی از جنبش زمین است و در مناطق خارج از محدوده‌ی ثبت شده نیز قابل تخمین است. عامل دوم برای تعیین منحنی‌های خسارت «تعیین

جدول ۱. طبقه بندی آسیب پذیری ساختمان‌ها در EMS-۹۸ [۷]

طبقه بندی آسیب پذیری						نوع سازه	
F	E	D	C	B	A		
					○	از قلوه سنگ تراشیده	بنایی
					○	خشتی	
				○	..	از سنگ ساده	
		..	○	-		از سنگ توده‌یی	
			..	○	..	غیر مسلح (همراه با قطعات سنگی کارگاهی و تراشیده شده)	
		..	○	-		غیر مسلح همراه با کف‌های اتاق بتنی مسلح	
	-	○	..			مسلح شده یا اسکلتی	
		..	○	-..	..	قاب بتنی مسلح (بدون طراحی برای مقاومت در برابر زمین لرزه)	بتنی مسلح (RC)
	-	○	-..	..		قاب بتنی مسلح با سطح متوسطی از طراحی مقاوم در برابر زمین لرزه	
-	○	-..	..			قاب بتنی مسلح با سطح بالایی از طراحی مقاوم در برابر زمین لرزه	
		-	○	..		دیوارها بتنی مسلح بدون طراحی برای مقاومت در برابر زمین لرزه	
	-	○	..			دیوارها بتنی مسلح با سطح متوسطی از طراحی مقاوم در برابر زمین لرزه	
-	○	..				دیوارهای بتنی مسلح با سطح بالایی از طراحی مقاوم در برابر زمین لرزه	
-	○	..-	..			سازه‌های فولادی	

○: محتمل‌ترین طبقه‌ی آسیب‌پذیری؛ | -: حدود احتمالی و .. -: حدود با احتمال ضعیف و موارد استثنایی.

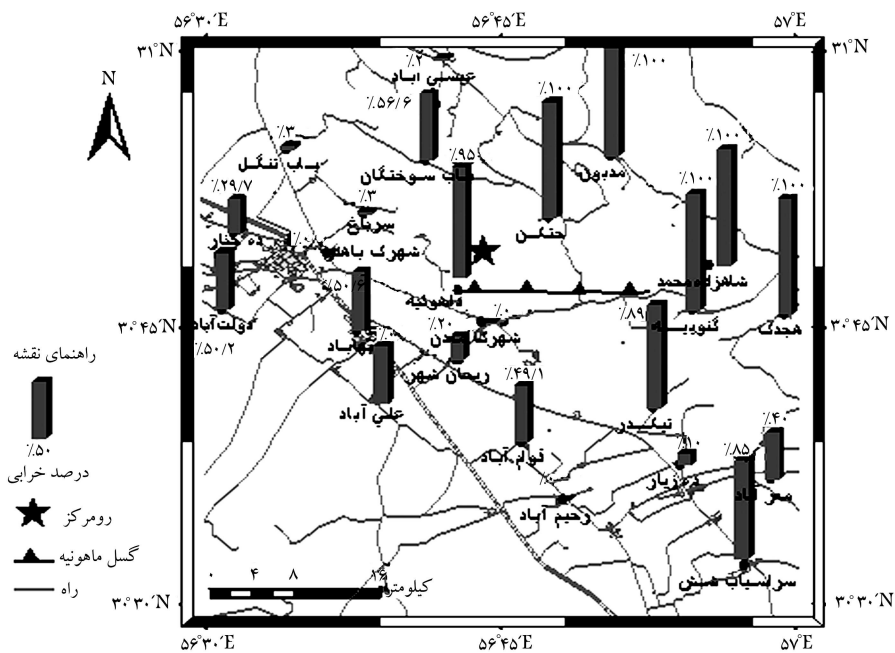
از ۱۸ منطقه‌ی شهرستان زرنند را شامل می‌شوند. از مجموع ۲۲۵ واحد ساختمانی بازدیدشده حدود ۴۸/۶٪ ساختمان‌ها از نوع خشتی، ۴۵/۹٪ از نوع مصالح بنایی و چند درصد باقی‌مانده را ساختمان‌های مهندسی‌ساز اعم از بنایی با کلاف بتنی (۴/۸٪)، بنایی با اسکلت فلزی (۰/۳٪)، اسکلت فلزی با بادبند (۰/۱٪) و بتنی مسلح (۰/۳٪) تشکیل می‌دهند. خسارت وارده بر ساختمان‌ها توسط کارشناسان بازدیدکننده از خرابی‌ها، در فرم‌های مخصوص ستاد بازسازی مناطق زلزله‌زده، در سه حالت کم‌تر از ۳۰٪، بین ۳۰٪ تا ۶۰٪ و بین ۶۰٪ تا ۱۰۰٪ ارزیابی شده است. لذا، به‌منظور تطبیق اطلاعات این فرم‌ها با دستورالعمل EMS-۹۸، خرابی ساختمان‌ها به سه نوع  $G_1 + G_2$  (خرابی کم)،  $G_3$  (خرابی متوسط) و  $G_4 + G_5$  (خرابی سنگین) تقسیم شده است. نوع  $G_1 + G_2$  بیان‌گر ساختمان‌هایی با خرابی کم‌تر از ۳۰٪،  $G_3$  بیان‌گر ساختمان‌هایی با خرابی بین ۳۰٪ تا ۶۰٪ و  $G_4 + G_5$  بیان‌گر تخریب بیش از ۶۰٪ است. دسته‌ی دوم اطلاعات مربوط به داده‌های جمع‌آوری شده از سازه‌های خسارت‌دیده در شهرستان‌های زرنند و راور است که پس از زمین‌لرزه‌ی داهوئیه - زرنند از مشاهدات میدانی خرابی‌ها برداشت شده‌اند [۱۱]. داده‌های جمع‌آوری شده تنها ساختمان‌های خشتی و بناهای معمولی با درصد تخریب بالا را شامل می‌شود و بنابراین، خرابی نسبت داده شده به مجموع داده‌های این دسته از نوع  $G_4 + G_5$  (خرابی سنگین) است. دسته‌ی سوم اطلاعات، داده‌های مربوط به گزارش‌های سازمان هلال احمر از خسارات وارده بر مناطق زلزله‌زده را شامل می‌شود. به‌منظور ایجاد یک پایگاه اطلاعاتی واحد، داده‌های سه گروه مختلف مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های این سه گروه در محله‌هایی که درصد تخریب سنگین در آن‌ها بالا بوده مطابقت نسبتاً خوبی با یکدیگر دارند. اما در مناطقی که درصد

$$DR_{ij} = \frac{\text{تعداد ساختمان‌های خراب‌شده از نوع } i \text{ در سطح خرابی } j}{\text{تعداد کل ساختمان‌ها از نوع } i} \quad (۱)$$

که در آن  $DR_{ij}$  نسبت خسارت است که در آن،  $i$  نوع ساختمان و  $j$  یکی از انواع خرابی‌ها (در این مطالعه نوع  $G_4 + G_5$ ) است. در شکل ۲ میزان خسارت محاسبه شده و پراکندگی آن‌ها در منطقه برای ترکیب نهایی داده‌ها نشان داده شده است.

## ۵. برآورد شدت زمین‌لرزه در منطقه‌ی زرنند

به‌منظور تعیین شدت زمین‌لرزه براساس دستورالعمل EMS-۹۸، تعیین آسیب‌پذیری ساختمان‌های منطقه‌ی زرنند ضروری است. با توجه به توضیحات ارائه شده در بخش ۳، جدول ۲ به‌عنوان معیار تعیین آسیب‌پذیری ساختمان‌های غیرمهندسی‌ساز



شکل ۲. نقشه‌ی پراکندگی درصد خرابی‌های سنگین در زمین‌لرزه‌ی داهوتیه- زرنند (۱۳۸۳) برای داده‌های انتخابی (موقعیت رومرکز زمین‌لرزه با ستاره نشان داده شده است).

جدول ۳. مقادیر شدت محاسبه شده در مناطق خسارت‌دیده.

منطقه	شدت	منطقه	شدت
داهوتیه	X	قوام‌آباد	VII
بهاآباد	IX	ده زیار	VIII
علی‌آباد	IX	هجدک	X
دولت‌آباد	IX	تیکدر	X
ده‌چنار	VIII	معزآباد	VIII
باب تنگل قدمگاه	VII	رحیم‌آباد	VII
باب سوختگان	IX	سراسیاب شش	IX
عیسی‌آباد	VII	سرباغ	VIII
حتکن	X	شهرک معدن	VIII
مدبون	X	ریحان شهر	VII
شاهزاده محمد	X	شهرک باهنر	VIII
گنویه	X		

جدول ۲. طبقه بندی آسیب‌پذیری ساختمان‌های منطقه‌ی زرنند.

طبقه آسیب‌پذیری					نوع سازه
E	D	C	B	A	
				o	خشتی گلی و خشتی سنگی
			o		بنایی

-- شامل ساختمان‌های خشتی و مصالح بنایی -- در منطقه تعیین و در این بررسی به کار گرفته شده است. پس از تعیین طبقه‌ی آسیب‌پذیری، درصد خسارت در سطح خرابی سنگین ( $G_5 + G_4$ ) با استفاده از رابطه‌ی ۱ محاسبه و به کمک دستورالعمل ۹۸-EMS، شدت برای پهنه‌های مختلف تعیین شده است.<sup>[۱۳]</sup> مقادیر محاسبه‌شده‌ی شدت برای نقاط مختلف آسیب‌دیده در جدول ۳ ارائه شده است.

## ۶. تخمین بیشینه شتاب جنبش زمین (PGA) در منطقه‌ی زرنند

بررسی رابطه‌ی شتاب و خرابی‌های حاصل از زمین‌لرزه نیازمند تعیین شتاب در نقاط خسارت‌دیده است. حال آن‌که ثبت شتاب جنبش زمین به‌هنگام وقوع زمین‌لرزه‌ی داهوتیه - زرنند (۱۳۸۳) تنها در چند ایستگاه شتاب‌نگاری در محدوده‌ی مه‌لرزه‌ی صورت گرفته است. لذا، برآورد شتاب جنبش زمین در نقاط خسارت‌دیده، با استفاده از روش‌های ممکن ضرورت می‌یابد. به‌منظور تعیین شتاب جنبش زمین در گستره‌ی خسارت‌دیده از روش درون‌یابی عکس‌فاصله‌ی وزنی، و از رابطه‌های پیشنهادی توسط محققان<sup>[۱۳،۱۳.۶]</sup> استفاده شده است. در روش اول با استفاده از مقادیر شتاب ثبت شده در ایستگاه‌های شتاب‌نگاری مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن و روابط

درون‌یابی عکس‌فاصله‌ی وزنی، شتاب جنبش زمین در نقاط مورد نظر برآورد شده است. در روش دوم با استفاده از روابط پیشنهادی محققین بیشینه شتاب در مناطق خسارت‌دیده برآورد شده است. در این روش به‌منظور برآورد دقیق‌تر مقادیر شتاب در مناطق خسارت‌دیده، روابط تضعیف برای منطقه تصحیح شده و سپس مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج برآورد شتاب به روش‌های مختلف در مقالات دیگری نیز ارائه شده است<sup>[۶]</sup> اما در این نوشتار فقط به ذکر نتایج برآورد شتاب بسنده

جدول ۴. مقادیر شتاب برآورد شده در مناطق خسارت دیده با استفاده از روش عکس فاصله‌ی وزنی و روابط تضعیف اولیه و تصحیح شده برحسب  $\text{cm/s}^2$  [۶].

منطقه	شتاب محاسبه شده با روش عکس فاصله وزنی	شتاب محاسبه شده با رابطه‌ی کمپل و بزرگنیا (۲۰۰۸)	شتاب محاسبه شده با رابطه‌ی فوکوشیما (۲۰۰۳)	شتاب محاسبه شده با رابطه‌ی کمپل و بزرگنیا (۲۰۰۸)	شتاب محاسبه شده با رابطه‌ی فوکوشیما (۲۰۰۳)
داهریه	۳۴۸	۹۱۳	۱۲۸۶	۱۰۵۸	۲۰۷۵
بهاآباد	۳۱۱	۴۲۴	۳۳۱	۴۳۳	۴۶۱
علی‌آباد	۱۳۱	۳۵۳	۲۶۹	۳۴۳	۳۵۷
دولت‌آباد	۳۲۴	۲۳۰	۱۷۰	۱۸۶	۱۸۹
ده چنار	۳۲۶	۲۳۸	۱۷۴	۱۹۶	۱۹۶
باب تنگل	۲۵۸	۲۴۷	۱۷۸	۲۰۸	۲۰۲
باب سوختگان	۲۷۳	۳۹۸	۲۷۷	۴۰۱	۳۷۰
عیسی‌آباد	۲۰۸	۲۴۸	۱۷۶	۲۰۸	۱۹۹
حتکن	۳۹۵	۷۸۸	۵۶۵	۸۹۸	۸۵۶
مدبون	۲۶۶	۴۲۹	۲۹۷	۴۴۰	۴۰۴
شاهزاده محمد	۵۰۳	۷۰۶	۶۳۹	۷۹۳	۹۸۱
گنویه	۴۱۵	۷۹۹	۸۶۴	۹۱۲	۱۳۶۲
قوام‌آباد	۹۵	۳۲۷	۲۴۸	۳۱۰	۳۲۰
ده زیار	۹۹	۲۸۳	۲۱۲	۲۵۴	۲۶۰
هجدک	۴۰۹	۴۲۴	۳۳۱	۴۳۳	۴۶۱
تیکدر	۷۵	۴۱۱	۳۲۰	۴۱۷	۴۴۲
معزآباد	۱۰۰	۲۳۵	۱۷۴	۱۹۳	۱۹۶
رحیم‌آباد	۹۹	۲۴۱	۱۷۹	۲۰۰	۲۰۴
سراسیاب شش	۶۶	۱۷۵	۱۲۸	۱۱۶	۱۱۸
سرباغ	۳۴۱	۴۱۷	۳۰۹	۴۲۵	۴۲۴
شهرک معدن	۳۳۶	۸۸۲	۱۱۳۸	۱۰۱۸	۱۸۲۵
ریحان‌شهر	۲۱۶	۵۹۱	۵۰۶	۶۴۷	۷۵۶
شهرک باهنر	۳۲۳	۳۶۳	۲۷۵	۳۵۶	۳۶۷

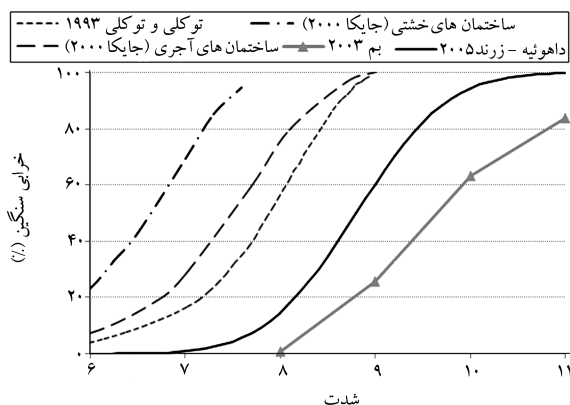
خسارت تعیین شده و شدت و شتاب برآورد شده در منطقه، تابع خسارت در سطح خرابی سنگین ( $G_4 + G_5$ ) برای ساختمان‌های غیرمهندسی‌ساز منطقه‌ی زرنده ارائه شده است. در شکل ۳ درصد خسارت در سطح خرابی سنگین برحسب شدت برای ساختمان‌های غیرمهندسی‌ساز نشان داده شده است. همچنین در شکل‌های ۴ و ۵ درصد خسارت به ترتیب برحسب بیشینه شتاب برآورد شده با روش عکس فاصله‌ی وزنی و روابط تضعیف (کمپل و بزرگنیا، ۲۰۰۸ و فوکوشیما ۲۰۰۳) روابط تصحیح شده‌ی آن‌ها، برای ساختمان‌های غیرمهندسی‌ساز نشان داده شده است. با دقت در توابع خسارت ارائه شده در شکل ۵ ملاحظه می‌شود که در محدوده‌ی شتاب‌های  $400 \text{ cm/s}^2$  تا  $500 \text{ cm/s}^2$ ، بیش از ۵۰ درصد ساختمان‌های غیرمهندسی‌ساز تخریب شده‌اند؛ حال آن که در شکل ۴ که در آن شتاب‌ها با استفاده از رابطه‌ی عکس

می‌شود. در جدول ۴ شتاب‌های پیش‌بینی شده با استفاده از روش‌های فوق در مناطق خسارت دیده ارائه شده است. بررسی‌های انجام یافته توسط محققین مقادیر مناسب تری برای برآورد شتاب درگستره‌ی زرنده ارائه می‌کند. [۶]

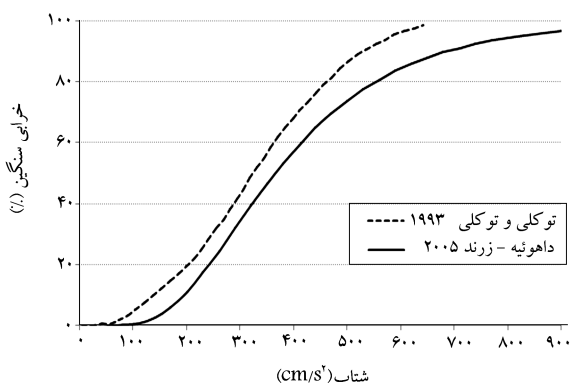
## ۷. برآورد تابع خسارت برحسب شدت و بیشینه شتاب

### جنبش زمین

تابع خسارت میزان خرابی ساختمان‌ها را برای یک سطح خرابی معین و نوع مشخصی از ساختمان‌ها به عنوان تابعی از پارامتر جنبش زمین نشان می‌دهد. با توجه به درصد



شکل ۶. مقایسه‌ی تابع خسارت برای زمین‌لرزه داهوتیه - زرد (۱۳۸۳) با نتایج بررسی‌های صورت گرفته در زمین‌لرزه‌های منجیل (۱۳۶۹) [۸] و بم (۱۳۸۲) [۱۵] و مطالعات جایکا (۲۰۰۰) [۹].



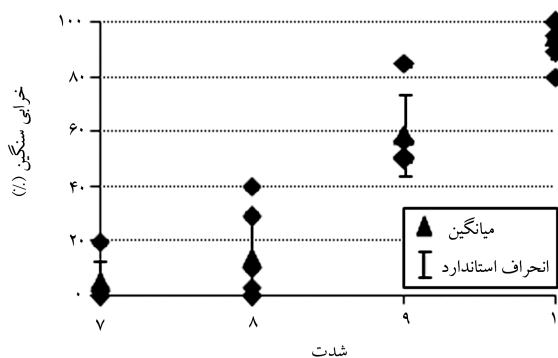
شکل ۷. مقایسه‌ی تابع خسارت برحسب شتاب در زرد با تابع خسارت ارائه شده در سال (۱۹۹۳) [۸].

فاصله وزنی محاسبه شده، تخریب ساختمان‌ها به میزان ۱۰۰ درصد در محدوده‌ی شتاب  $400-500 \text{ cm/s}^2$  است. همچنین آستانه‌ی تخریب سنگین ساختمان‌های غیرمهندسی‌ساز در شدت VII (شکل ۳) یا شتاب  $100 \text{ cm/s}^2$  (شکل‌های ۴ و ۵) برآورد می‌شود.

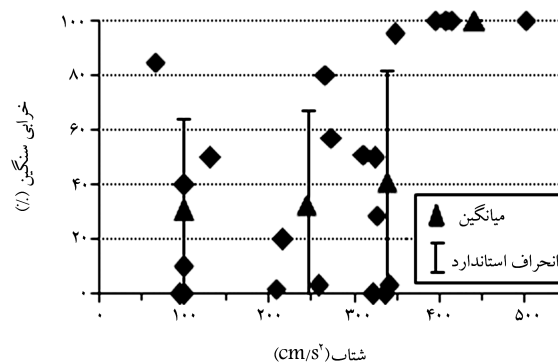
تابع خسارت به دست آمده برحسب شدت در منطقه‌ی زرد با توابع حاصل از مطالعات صورت گرفته در زمین‌لرزه‌های منجیل (۱۳۶۹) [۸]، بم (۱۳۸۲) [۱۵] و مطالعات جایکا (۲۰۰۰) [۹] در شکل ۶ مقایسه شده است. در شکل ۷ نیز درصد خسارت سنگین برحسب بیشینه شتاب برآورد شده با استفاده از رابطه‌ی تضعیف فوکوشیما (۲۰۰۳) در منطقه‌ی زرد با تابع خسارت حاصل از بررسی‌های انجام شده در سال ۱۹۹۳ در زمین‌لرزه‌ی منجیل (۱۳۶۹) [۸] مقایسه شده است.

## ۸. نتیجه‌گیری

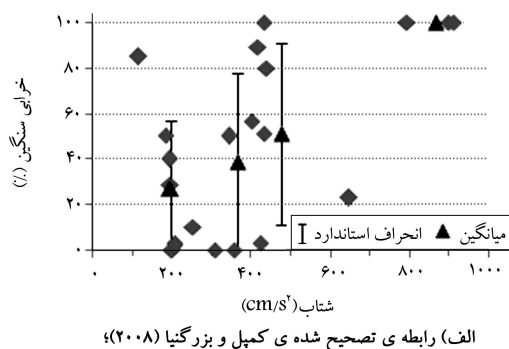
در این نوشتار، تابع خسارت برحسب شدت و بیشینه‌ی شتاب جنبش زمین برای ساختمان‌های غیرمهندسی‌ساز (خشتی و مصالح بنایی) منطقه‌ی زرد با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده از خرابی ساختمان‌ها در زمین‌لرزه‌ی داهوتیه - زرد (۱۳۸۳) ارائه شده است. با توجه به توابع خسارت حاصل از این مطالعه در منطقه‌ی زرد، آستانه‌ی تخریب سنگین ساختمان‌های غیرمهندسی‌ساز در شدت VII (شکل ۶)



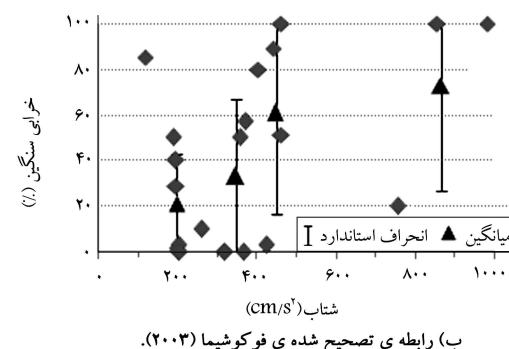
شکل ۳. درصد خسارت سنگین برحسب شدت برای ساختمان‌های غیرمهندسی‌ساز در منطقه‌ی زرد.



شکل ۴. درصد خسارت سنگین برحسب شتاب حاصل از روش عکس فاصله‌ی وزنی برای ساختمان‌های غیرمهندسی‌ساز در منطقه‌ی زرد.



الف) رابطه‌ی تصحیح شده‌ی کمپل و بزرگتیا (۲۰۰۸)؛



ب) رابطه‌ی تصحیح شده‌ی فوکوشیما (۲۰۰۳).

شکل ۵. درصد خسارت سنگین برای ساختمان‌های غیرمهندسی‌ساز در منطقه‌ی زرد برحسب شتاب حاصل از روابط مختلف تضعیف اصلاح شده.

بالاتر و در نتیجه مقاومت بهتری نسبت به ساختمان‌های غیرمهندسی‌ساز منطقه‌ی زرنند برخوردار است.

### تشکر و قدردانی

از بنیاد مسکن استان کرمان به ویژه ستاد بازسازی مناطق زلزله‌زده زرنند و چترود برای ارائه اطلاعات لازم و همچنین فراهم آوردن امکان بازدید از مناطق خسارت دیده زمین‌لرزه داهوتیه - زرنند صمیمانه تقدیر و تشکر می‌شود. همچنین از مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن برای فراهم آوردن شتابنگاشت‌های زمین‌لرزه داهوتیه - زرنند (۱۳۸۳) تشکر می‌شود.

با شتاب  $10 \text{ cm/s}^2$  (شکل ۷) برآورد می‌شود. با توجه به مقایسه‌ی تابع خسارت برحسب شتاب در منطقه‌ی زرنند با تابع خسارت حاصل از بررسی‌های دیگر محققین در زمین‌لرزه منجیل (۱۳۶۹)<sup>[۸]</sup> این دو تابع هم‌خوانی خوبی با یکدیگر نشان می‌دهند (شکل ۷) و ملاحظه می‌شود که درصد تخریب سنگین در زمین‌لرزه‌ی داهوتیه - زرنند کم‌تر از مقادیر به دست آمده در زمین‌لرزه‌ی منجیل (۱۳۶۹) است. نظر به این که سن سازه‌ها (به‌عنوان نمادی از کیفیت ساخت) در منطقه‌ی زرنند غالباً بالای ۲۰ سال است، لذا این تفاوت ممکن است ناشی از برآورد دست بالای خسارت<sup>[۸]</sup> به‌لحاظ محدودیت تعداد داده‌های به‌کارگرفته‌شده توسط آن‌ها باشد. این در حالی است که ساختمان‌های غیرمهندسی‌ساز در شهر بم از آستانه‌ی تخریب

### پانویس

۱. در تعریف مه‌لرزه باید گفت چنانچه اطلاعات مربوط به یک زلزله‌ی بزرگ غیردستگاهی باشد، «مه‌لرزه» نامیده می‌شود.
2. Japan institute co-operative agency (JICA)
3. grade

### منابع

1. Talebian, M.; Biggs, J.; Bolurchi, M.; Copley, A.; Ghassemi, A.; Ghorashi, M.; Hollingworth, J.; Jackson, J.; Nissen, E.; Oveisi, B.; Parsons, B.; Proiestly, K. and Saidi, A. "The dahuiyeh (Zarand) earthquake of 2005 February 22 in central Iran: Reactivation of an intramountain reverse fault", *Geophys. J. Int.*, **164**, pp. 137-148 (2006).
2. Building and Housing Research Center, <http://www.bhrc.ac.ir>, (2005).
3. Rota, M.; Penna, A. and Strobba, C.L. "Processing Italian damage data to derive typological fragility curves", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **28**, pp. 933-947 (2008).
4. Rossetto, T. and Elnashai, A. "Derivation of vulnerability functions for European-type RC structures based on observational data", *Engineering Structures*, **25**, pp. 1241-63 (2003).
5. Sarabandi, P.; Pachakis, D.; King, S. and Kiremidjian, A., *Empirical Fragility Functions from Recent Earthquakes, Proceedings of the 13th WCEE, Vancouver, Canada* (2004).
6. Ghayamghamian, M.; Ahmadzadeh, S. and Mirzaei, N., *Seismic Zoning of Peak Ground Acceleration in Damaged Area of 2005 Dahoiyeh-Zarand Earthquake, Iranian Journal of Geophysics* 2009, (in press).
7. Grunthal, G.(editor), *European Macroseismic Scale 1998. Cahiers du Centre Europe'en de Ge'odynamique et de Se'ismologie*, **15**, Centre Europe'en de Ge'odynamique et de Se'ismologie, pp. 99 (1998).
8. Tavakoli, B. and Tavakoli, S. "Estimating the Vulnerability and loss functions of residential buildings", *Natural Hazards*, **7**, pp. 155-171 (1993).
9. Japan international cooperation Agency (JICA), *The study on seismic microzoning of the greater Tehran area*, Center for earthquake and environmental studies of Tehran (CEST), Tehran Municipality (2000).
10. Ghayamghamian, M. and Khanzadeh, K., *Classification of Buildings and Estimating the Damage Function for Non-Engineering Buildings in Bam City*, Research Bulletin of Seismology and Earthquake Engineering, (in press) (2008).
11. Ghayamghamian, M. and Noori, G., post earthquake survey data (personal information), (2005).
12. Ahmadzadeh, S. "The relation between seismic intensity and building damages during Zarand earthquake (2005)", M.Sc. thesis in Geophysics (seismology), University of Tehran (2009).
13. Campbell, K.W. and Bozorgnia, Y. "NGA ground motion model for the geometric mean horizontal component of PGA, PGV, PGD and 5% damped linear elastic response spectra for periods ranging from 0.01 to 10 s", *Earthquake Spectra*, **24**(1), pp. 139-171 (2008).
14. Fukushima, Y. "Attenuation relation for west eurasia determined with recent near-fault records from California, Japan And Turkey", *Journal of Earthquake Engineering*, **7**(4), pp. 573-598 (2003).
15. Khanzadeh, K. "Study and classification of building damage and human lost in Bam city and its relationship with earthquake intensity", M.E thesis, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, (2006).